

**REFLECTING MIRROR AND METHOD FOR MANUFACTURING IT**

Patent Number: JP2000098092  
Publication date: 2000-04-07  
Inventor(s): SHINADA KUNINORI; TAKINO HIDEO  
Applicant(s): NIKON CORP  
Requested Patent: JP2000098092  
Application Number: JP19980265977 19980921  
Priority Number(s):  
IPC Classification: G21K1/06; G02B5/08; G03F7/20; H01L21/027  
EC Classification:  
Equivalents:

---

**Abstract**

---

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To make it possible to sufficiently suppress and lessen thermal deformation due to the absorption of irradiation energy by making a structure where a reflective film is placed directly on a base made of invar.

**SOLUTION:** For instance, an X-ray reflective mirror built into an X-ray projection aligner used for a projection lithography technology has a structure where an X-ray reflective multilayer film 2n is formed directly on a base 1 made of a single invar block whose linear expansion coefficient is  $0.1 \times 10^{-6}/K$  or less, for example, approximately  $0.01 \times 10^{-6}/K$ . A concave surface of the base 1 obtained through the grinding work of blocks made of invar undergoes polishing work by using grains whose particle diameters are infinitesimal and uniform and is regarded as a mirror surface whose surface roughness is 0.57 nmRMS or less, for example. On this polished concave surface, molybdenum layers and silicon layers are alternately piled up by ion beam sputtering, for example, to form the X-ray reflective multilayer film 2 with a prescribed number of laminated layers.

---

BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-98092

(P2000-98092A)

(43) 公開日 平成12年4月7日(2000.4.7)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード*(参考)
G 2 1 K 1/06		G 2 1 K 1/06	B 2 H 0 4 2
G 0 2 B 5/08		G 0 2 B 5/08	C 2 H 0 9 7
G 0 3 F 7/20	5 0 3	G 0 3 F 7/20	5 0 3 5 F 0 4 6
H 0 1 L 21/027		H 0 1 L 21/30	5 3 1 A

審査請求 未請求 請求項の数6 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平10-265977

(22) 出願日 平成10年9月21日(1998.9.21)

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 品田 邦典

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

(72) 発明者 瀧野 日出雄

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

(74) 代理人 100084032

弁理士 三品 岩男 (外1名)

最終頁に続く

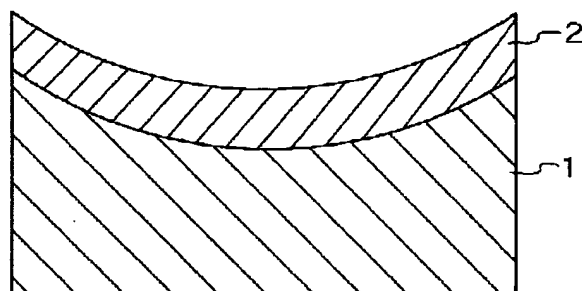
(54) 【発明の名称】 反射鏡およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 照射されるエネルギーの吸収による熱変形を充分小さく抑えることのできる反射鏡とその製造方法を提供する。

【解決手段】 基板1と、基板1上に配置された反射膜2とを有する。基板1は、インバーからなり、反射膜2は、基板1上に直接配置されている。

図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】基板と、前記基板上に配置された反射膜とを有し、

前記基板は、インバーからなり、前記反射膜は、前記基板上に直接配置されていることを特徴とする反射鏡。

【請求項 2】請求項 1 に記載の反射鏡において、前記基板は、インバー製の単一のブロックからなることを特徴とする反射鏡。

【請求項 3】請求項 1 に記載の反射鏡において、前記反射膜は、X 線を反射するための多層膜であり、前記基板の線膨張係数は、 $0.1 \times 10^{-6}/K$  以下であることを特徴とする反射鏡。

【請求項 4】インバー製のブロックを切り出して基板の形状にする第 1 の工程と、

前記基板の上面を研磨することにより、表面粗さを滑らかにする第 2 の工程と、

前記基板の上面に反射膜を形成する第 3 の工程とを有することを特徴とする反射鏡の製造方法。

【請求項 5】請求項 4 に記載の反射鏡の製造方法において、前記第 2 の工程では、前記基板の上面を  $0.57 \text{ nm RMS}$  以下の粗さまで研磨することを特徴とする反射鏡の製造方法。

【請求項 6】X 線光源と、所望のパターンを有するマスクを保持するためのマスク保持部と、露光対象を保持するための露光対象保持部と、前記 X 線光源から出射され前記マスクで前記パターン形状に成形された X 線光束を前記露光対象まで導くための 1 以上の X 線反射鏡とを有し、

前記 1 以上の X 線反射鏡のうちの少なくとも 1 つは、基板と、前記基板上に配置された反射膜とを備え、

前記基板は、インバーからなり、前記反射膜は、前記基板上に直接配置されていることを特徴とする X 線投影露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、軟 X 線縮小投影露光装置等の X 線光学系に用いられる反射鏡に関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、半導体集積回路素子の微細化に伴い、光の回折限界によって制限される光学系の解像力を向上させるために、従来より用いられていた紫外線に代えて、より波長の短い X 線を使用する投影リソグラフィ技術が研究されている。

【0003】この技術に使用される X 線投影露光装置は、現在開発中ではあるが、主として X 線源、照明光学系、マスク、結像光学系、ウェハステージ等により構成される予定である。

【0004】X 線源には、放射光光源またはレーザープラズマ X 線源が使用可能である。照明光学系は、斜入射

ミラー、多層膜ミラー、および所定の波長の X 線のみを反射または透過させるフィルター等により構成され、マスク上に所望の波長の X 線で照明する。

【0005】マスクとしては、透過型マスクと反射型マスクとが研究されている。透過型マスクは、X 線を良く透過する物質からなる薄いメンブレンの上に、X 線を吸収する物質を所定の形状に設けることによってパターンを形成したものである。一方、反射型マスクは、例えば X 線を反射する多層膜上に反射率の低い部分を所定の形状に設けることによってパターンを形成したものである。

【0006】投影結像光学系は、複数の多層膜ミラーで構成され、マスクを透過または反射した X 線を、ウェハステージ上のウェハ上に結像する。ウェハには、レジストが塗布されている。これによりレジストに上記マスクのパターンが転写される。

【0007】なお、X 線は大気中に吸収されて減衰するため、X 線投影露光装置の X 線光路は全て所定の真空度に維持される構成となる。

【0008】また、X 線投影露光装置に用いられる軟 X 線の波長域では、透明な物質は存在せず、また物質表面での反射率も非常に低いため、X 線投影露光装置にはレンズやミラーなどの通常の光学素子が使用できない。そのため、反射面に斜め方向から入射した X 線を全反射を利用して反射させる斜入射ミラーや、多層膜の各界面での反射光の位相を一致させて干渉効果によって高い反射率を得る多層膜ミラー等を用いることが考えられている。

【0009】しかしながら、斜入射光学系は収差が大きいために回折限界の解像力を得ることはできない。一方、多層膜ミラーは X 線を垂直に反射することが可能であり、回折限界の X 線光学系を構成することが可能である。このため、現在開発中の軟 X 線投影露光装置の結像光学系は、すべて多層膜ミラーを用いることが考えられている。また、多層膜ミラーの基板には、形状精度が高くしかも表面粗さの小さい、熔融石英等の組成  $\text{SiO}_2$  の非晶質のガラス材料を用いることが検討されている。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】上記のような X 線投影露光装置では、スループットを向上させて、実用的なスループット（例えば、8 インチウェハで 30 枚/1 時間程度以上）にするためには、露光時間を短縮し、X 線の照射強度を大きくする必要がある。このため、結像光学系を構成する多層膜ミラーの表面には、ある程度の強度の X 線（例えば、 $10 \text{ mW}/\text{cm}^2$  程度）が照射されることになる。

【0011】ところが、多層膜ミラーの反射率は最も高くても 70% 程度であり、残りは多層膜で反射されずに吸収、透過、散乱される。散乱による損失はわずかであり、多層膜を透過した X 線はミラー基板によりほぼ完全

に吸収される。即ち、多層膜ミラーで反射されなかったX線のほとんどは多層膜ミラーに吸収され、そのエネルギーは熱に変換される。しかも、この多層膜ミラーは真空中で使用されるため、ミラーの表面からの放熱はほとんどなく、多層膜ミラーの温度は上昇し、多層膜ミラーに熱変形が生じてしまう。

【0012】一般に、光学系で回折限界の解像力を得るためには、使用する光の波長と比較して光学系を構成するミラーやレンズの形状誤差を充分小さくする必要がある。X線光学系では、可視光や紫外線の光学系よりも、波長が短い分だけ形状誤差の許容範囲は狭く、X線照射による多層膜ミラーの熱変形は、多層膜ミラーの結像特性に大きな影響を与え、設計通りの解像力が得られなくなる恐れがある。

【0013】現状では、基板の裏面からミラーを冷却することが考えられているが、スループット向上のために、強いX線を照射すると、熱変形を完全に抑制するだけの十分な効果を得ることはむずかしい。そのため、現在までのところ、実用的なスループットが得られる見通しは立っていない。

【0014】また、この光学素子の熱変形の問題は、軟X線以外の波長域の光学系についても、程度の差はあれ生じていた。

【0015】本発明は、かかる問題点に瀕みてなされたものであり、照射されるエネルギーの吸収による熱変形を充分小さく抑えることのできる反射鏡とその製造方法を提供することを目的とする。

【0016】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明によれば、以下のような反射鏡が提供される。

【0017】すなわち、基板と、前記基板上に配置された反射膜とを有し、前記基板は、インバーからなり、前記反射膜は、前記基板上に直接配置されていることを特徴とする反射鏡である。

【0018】

【発明の実施の形態】本発明の一実施の形態について説明する。

【0019】（実施の形態1）本発明の第一の実施の形態のX線反射ミラーは、図1のようにインバーからなる基板1を用い、直接この上にX線反射多層膜2を形成した構成である。しかも、基板1を構成するインバーは、線膨張係数が $0.1 \times 10^{-6}/K$ 以下の単一のインバーブロックからなる。本実施の形態では、特に、線膨張係数 $0.01 \times 10^{-6}/K$ のインバー材料を用いる。このように低熱膨張係数のインバーを用いた場合には、実用的なスループットを得るために照射X線が大きくなっても、基板1の熱変形量が小さいため、反射ミラーの光学特性をX線投影露光装置として必要とされる精度に収めることできる。また、基板1の表面は、反射ミラーとし

て極めて平滑な面が要求されるが、本実施の形態では、基板1の表面を研削加工した後、研磨する工程を加えることにより、必要とされる平滑な面を得ることを可能とした。

【0020】また、多層膜2は、多層膜2の各界面での反射光の位相を一致させて干渉効果によって高い反射率を得る構成となっている。

【0021】図1のX線反射ミラーの製造方法を以下説明する。まず、インバー製のブロックを研削加工して上面が凹面で裏面が平面のインバー製基板を作製した。この基板1の上面の凹面を、粒径が微小かつ均一な砥粒を用いて研磨加工した。これにより、直径50mm、中心厚さ12.5mm、凹面の表面粗さが0.57nmRMS以下の鏡面の基板1を得た。ただし、上面の凹面の曲率半径は、500mmとした。基板1の表面の凹凸形状を光学式非接触表面粗さ計で測定したところ、図4のような結果が得られ、表面粗さが0.57nmRMS以下であることが確認できた。

【0022】つぎに、基板1の凹面上に、イオンビームスパッタリングにより、モリブデン(Mo)層とシリコン(Si)層を交互に堆積し、積層数50層のX線反射多層膜2を形成した。なお、この多層膜2の周期長(モリブデン(Mo)層とシリコン(Si)層を1層ずつ積層した厚さ)は、6.7nmとした。

【0023】これにより、直径50mm、曲率半径500mm、中心厚さ約12.5mmのX線多層膜反射ミラーを完成させた。ここでミラーの直径を50mmとしているのは、X線投影露光装置において実用的な露光領域の寸法を確保するために必要な大きさだからである。また、中心部の厚さを12.5mmにしているのは、ミラーの形状を精度良く維持するために必要とされる直径の四分の一程度の厚さを満たすためである。

【0024】つぎに、本実施の形態の図1のX線反射ミラーにX線が照射された場合の基板1の熱変形の大きさを見積もる。なお、比較例として、基板1を熔融石英で構成したミラーについても基板の熱変形の大きさも見積もる。

【0025】なお、実際のミラーの変形は、ミラーの寸法形状により大きく異なるので、正確にミラー変形を見積もるためには有限要素法等の計算が必要であるが、ここでは以下のように単純化して、変形の概略値を見積もることとする。

【0026】まず、図2(a)に示すように、裏面が一定温度Tの熱浴(裏面を冷却して一定温度に保つことに相当する)に接した基板1(厚さd)の表面の一部201に定常的な熱流束Q(照射されたX線のうち、反射せずに基板に吸収される分のエネルギー)が投入されたときの、投入部分201における基板1の厚さ方向(x方向)の伸び(または縮み) $\Delta x$ を考える。ただし、ここでは、横方向の熱伝導は考えず、またX線はすべて基板

1 表面で吸収されると単純化とする。このとき基板の内部には、図 2 (b) に示すように、x 方向に一樣な温度勾配が生じるので、位置 x における温度 (熱浴との温度差)  $T(x)$  は、

【0027】

【数1】

数1

$$T(x) = \frac{Q}{\eta} x$$

ただし、 $\eta$  は熱伝導率

【0028】で与えられる。

数3

$$\Delta x = \int \Delta(\delta x) = \alpha \int_0^d T(x) dx = \frac{\alpha Q}{\eta} \int_0^d x dx = \frac{\alpha Q d^2}{2\eta}$$

【0034】となる。

【0035】この (数3) を用いて、まず比較例の、基板 1 を熔融石英から構成した X 線反射ミラーの熱変形量を計算する。熔融石英 ( $\text{SiO}_2$ ) の熱伝導率は  $1.38 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ 、線膨張係数は  $0.5 \times 10^{-6}$  である。また、基板へ投入される熱流束  $Q$  は  $10 \text{ mW/cm}^2$  とする。この  $10 \text{ mW/cm}^2$  という値は、この反射ミラーを軟 X 線投影露光装置に用いた場合に実用的なスループット (例えば、8 インチウェハで 30 枚/1 時間程度以上) を得る場合に、反射ミラーに照射される X 線の照射強度である。また、ミラーの直径は、図 1 の X 線反射ミラーの場合 50 mm である。また、ミラーの厚さ  $d$  には、図 1 のミラーの中心部の厚さ 12.5 mm を用いる。これにより、ミラーの中心部の熱変形量を見積もる。

【0036】これらの数値を上述の (数3) に代入して、熔融石英からなる基板の熱変形量を計算すると  $2.83 \text{ nm}$  となる。

【0037】つぎに、本実施の形態のインバー製の基板 1 を用いた場合の基板の変形量を見積もる。本実施の形態のインバーは、熱伝導率は  $12.9 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ 、線膨張係数は  $0.01 \times 10^{-6}/\text{K}$  である。これらの数値を式 (3) に代入してインバーの熱変形量を計算すると  $0.006 \text{ nm}$  となる。また、線膨張係数  $0.1 \times 10^{-6}/\text{K}$  以下のインバーであれば、他の条件が同じ場合、熱変形量は  $0.06 \text{ nm}$  以下にすることができる。

【0038】つぎに、X 線反射ミラーとして、許容される変形量 (形状誤差) を見積もる。

【0039】光学系の波面収差を波長の四分の一以内とするレイリーの条件を用いると、光学系を構成するミラー一枚あたりの形状精度は、

【0040】

【数4】

【0029】基板内の薄い層 (厚さ  $\delta x$ ) の伸び  $\Delta(\delta x)$  は、

【0030】

【数2】

数2

【0031】 $\Delta(\delta x) = \alpha \cdot T(x) \cdot \delta x$  は基板 1 の材料の線膨張係数である。

【0032】従って、厚さ  $d$  の全体の伸び  $\Delta x$  は、

【0033】

【数3】

数4

$$\{(\lambda/4) \times (1/2)\} \times (1/\sqrt{n})$$

【0041】以内に抑えなければならない。ここで、 $n$  は光学系を構成するミラーの枚数であり、 $1/2$  を掛けてあるのは反射系であるためである。例えば 4 枚のミラーにより構成された光学系を波長  $13 \text{ nm}$  で使用する場合、1 枚のミラーに許容される形状誤差 (熱変形量) は  $0.81 \text{ nm}$  となる。

【0042】上述のように、熔融石英を基板に用いた場合には、上述の条件で熱変形量は、 $2.83 \text{ nm}$  であるため、許容される形状誤差  $0.81 \text{ nm}$  からかけはなれた大きな値になる。このため、熔融石英基板を用いたミラーでは、上述の条件のように実用的なスループットを得るために必要とされる X 線照射量では、回折限界の解像力を得ることはできないことがわかる。一方、本実施の形態のインバーを用いた図 1 の反射ミラーの場合、熱変形量は、 $0.006 \text{ nm}$  であり、許容形状誤差  $0.81 \text{ nm}$  よりも 2 桁小さい値となる。また、線膨張係数  $0.1 \times 10^{-6}/\text{K}$  以下のインバーであれば、熱変形量は、 $0.06 \text{ nm}$  以下であるため、許容形状誤差を十分満たす。したがって、本実施の形態のインバー基板 1 を用いた反射ミラーは、実用的なスループットを得るために必要とされる X 線を照射されても、回折限界の解像力を得ることが可能である。

【0043】ところで、X 線用の多層膜反射ミラーの基板は、上述してきたように熱による変形量が微小であることの他に、表面が極めて平滑な面であることが要求される。反射ミラーの表面粗さと反射率との関係は、次式のように表される。

【0044】

【数5】

## 数5

$$R=R_0\exp\left\{-\left(\frac{4\pi\sigma\sin\theta}{\lambda}\right)^2\right\}$$

ただし、 $R_0$ ：表面粗さが無いときの反射率

$R$ ：表面粗さによる散乱損失があるときの反射率

$\sigma$ ：表面粗さの RMS 値

$\lambda$ ：X線の波長

$\theta$ ：斜入射角

【0045】すなわち、多層膜の構成が同じ反射ミラーでは、 $\lambda$ 、 $\theta$ の条件が同じであれば、反射率は、表面粗さに依存し、反射率の比 $R/R_0$ と表面粗さとの関係は図3のようになる（ただし、図3では $\lambda=13\text{ nm}$ 、 $\theta=90^\circ$ （垂直入射）としている）。また、反射ミラーの表面粗さは、ほぼ基板の表面粗さに一致する。したがって、従来より検討されている熔融石英を基板材料としたX線多層膜反射ミラーと同程度の反射率を得るためには、インバー基板1の表面粗さを、従来の熔融石英基板の表面粗さと同程度にする必要がある。従来の熔融石英基板を用いたX線反射ミラーの基板の表面粗さは、0.57 nmRMS程度であるため、本実施の形態のインバー基板1も0.57 nmRMS以下にする必要がある。

【0046】これまで一般的に、インバー等の金属は微細な結晶粒界が存在するため、その表面をナノメートルオーダーの平滑な表面にすることは困難であると思われてきた。しかしながら、本実施の形態では、研削加工の後で、微細で均一な粒径の砥粒を用いて研磨を行うことにより、インバーからなる基板1の表面を0.57 nmRMS以下にすることができた（図4）。これにより、インバー基板1を用いたX線反射ミラーでありながら、従来の熔融石英基板のミラーと同様に、多層膜2を形成した後の反射率が約70%の反射ミラーを得ることができた。

【0047】上述してきたように、第1の実施の形態のX線反射ミラーは、線膨張係数が $0.1\times 10^{-6}/\text{K}$ 以下のインバー基板1を用いているため、熱変形が十分小さい。そのため、X線投影露光装置に用いた場合に、実用的なスループットを得るために必要な強いX線を照射することができる。また、基板1の表面を研磨により平滑にしているため、反射ミラーとして十分実用的な反射率を得ることができる。したがって、本実施の形態のX線反射鏡をX線投影露光装置に用いることにより、高解像力と高スループットとを両立させたX線投影露光装置を実現することができる。

【0048】なお、上述の熱変形量の見積もりでは、多層膜2の熱変形量を見積もっているが、その理由は、多層膜2の厚さは、0.数 $\mu\text{m}$ しかないため、その熱変形量

がごくわずかで無視できる範囲だからである。

【0049】なお、本実施の形態のX線反射ミラーは、熱変形量が小さいため、X線投影露光装置に用いた場合に、X線反射ミラーを冷却するための機構を備えなくても、熱変形量を許容形状誤差以内に抑制できるが、冷却機構を備えることにより、より熱変形量を抑制することができる。具体的には、反射ミラーが $10\text{ mW}/\text{cm}^2$ のエネルギーを吸収した場合にも、水冷することにより熱変形量を0.006 nm以下に抑制することができる。

【0050】また、本実施の形態にかかる反射ミラーは、X線投影露光装置以外のX線光学系に用いることも可能である。また、多層膜2の構成を照射する光の波長に合わせたものにより、X線以外の波長の光の反射光学系にも適用可能である。

【0051】さらに、本実施の形態では、基板1の材料として線膨張係数が $0.1\times 10^{-6}/\text{K}$ 以下のインバーを用いたが、線膨張係数がこの値を満たす材料であって、表面が滑らかに研磨できる材料であればインバー以外の材料を用いることも可能である。

【0052】（実施の形態2）本発明の第2の実施の形態として、第1の実施の形態のX線反射ミラーを用いた軟X線投影露光装置について図5を用いて説明する。

【0053】図5のX線投影露光装置は、X線源11としてレーザープラズマ光源を使用する。X線源11から放射された光束は、2枚のX線反射ミラー12、13からなる照明光学系で集光され、マスクステージ14上に保持された反射マスク15を照明する。反射マスク15で反射した光束は、4枚のX線反射ミラー16～19で構成される投影光学系を通り、ウェハステージ20上に保持されたウェハ21上に到達する。投影光学系は、反射マスク15上に形成されている回路パターンを、1/4に縮小した像をウェハ21上に結像する。ウェハ21には、レジストが塗布されており、このレジストに反射マスク15のパターンが転写される。

【0054】投影光学系を構成する4枚のミラー16～19の反射面の形状は、いずれもそれぞれの光軸の周りに回転対称である。反射ミラー18には、反射ミラー1

6、17で収束されたX線が照射され、有効径が投影光学系の絞りとなっている。

【0055】ここでは、X線反射ミラー12、13、16～19として、いずれも第1の実施の形態の反射ミラーを用いた。これらの反射ミラー12、13、16～19には、ねじ穴が設けられ、X線投影露光装置の真空チャンパー（図5では不図示）内にボルトで固定されている。また、これら反射ミラー12、13、16～19のインバー基板1には、水等の媒体を通過させて冷却するための冷却溝を設けた。また、冷却溝を設けていない部分は、基板を空洞を設けて軽量化し、本体に保持される際の自重変形が少なくなるようにした。

【0056】反射マスク15は、モリブデン（Mo）層／シリコン（Si）層を積層した多層膜を用いて所望のマスクパターンを形成している。この多層膜は、波長13nm付近の軟X線を反射する構成となっている。

【0057】X線反射ミラー12、13、16～19の反射率は、いずれも70%程度であり、照射されるX線のうちの30%はミラーに吸収されて熱になる。また、反射マスク15においても一部が吸収される。光源11から出射されるX線の強度は、シリコンウエハ21に到達するX線の強度が所望の強度となるように、反射ミラー12、13、16～19および反射マスク15による吸収を見込んだ強度に設定される。そのため、実用的なスループットである30枚／時間を実現するためには、光源11に近い反射ミラー12、13には、約100mW/cm<sup>2</sup>のX線が照射されることになり、反射ミラー12、13は、約30mW/cm<sup>2</sup>を吸収する。また、投影光学系の反射ミラー18には、反射ミラー15、17によって収束されたX線が入射するために、単位面積当たりの照射X線強度は、投影光学系を構成する4枚の反射ミラー16～19のなかで一番大きくなる。上述の実用的なスループットを実現する場合には、反射ミラー18への入射強度は約30mW/cm<sup>2</sup>に達し、そのうちの30%の約9mW/cm<sup>2</sup>が吸収される。

【0058】しかしながら、本実施の形態では、反射ミラー12、13、18が、第1の実施の形態のインバー基板1を用いた反射ミラーであるため、第1の実施の形態より、これらの反射ミラー12、13、18の熱変形量は、吸収された熱流束10mW/cm<sup>2</sup>当たり0.006nm（ただし、厚さ12.5mmのミラー中央部）に抑制される。したがって、約30mW/cm<sup>2</sup>を吸収する反射ミラー12、13の場合、熱変形量は、ミラーの中央部で0.018nmである。同様に、約9mW/cm<sup>2</sup>のエネルギーを吸収する反射ミラー18の場合、熱変形量は、ミラーの中央部で0.0054nmである。第1の実施の形態で述べたように、X線波長が13nmの場合、回折限界を得るための許容形状誤差（許容熱変形量）は、0.81nm（ただし、4枚のミラー光学系の場合）であるので、反射ミラー12、13、18

の熱変形量は、この値よりも2桁小さく、許容形状誤差以内であることがわかる。また、反射ミラー12、13、18の以外の反射ミラー16、17、19に照射されるX線強度は、反射ミラー12、13、18よりも小さいため、熱変形量は、いずれも許容形状誤差以内である。このように、本実施の形態の軟X線投影露光装置の光学系を構成する反射ミラー12等はすべて、熱変形量が許容形状誤差以内であるため、回折限界の光学系を構成することができる。

【0059】しかも、本実施の形態では、反射ミラー12、13、16～19の基板1に冷却溝を設けて、水等の媒体で冷却する構成であるため、熱になるのは、吸収したエネルギーの一部のみであり、実際の熱変形量は上述の値よりもさらに小さくなる。したがって、実際の本実施の形態の軟X線投影露光装置は、上述のX線強度よりもさらに大きなX線強度を照射しても、反射ミラー12等の熱変形量を許容形状誤差以内に抑制することができる。30枚／時間を越えるスループットを実現することができる。

【0060】このように、本実施の形態のX線投影露光装置では、反射ミラーの熱変形量を十分に小さく抑えることができるため、高解像力と高スループットを両立させることができる。

【0061】なお、上述してきた本実施の形態の軟X線投影露光装置は、反射ミラー12、13、16～19の全てを第1の実施の形態のインバー基板1の反射ミラーにする構成であったが、一部のみを第1の実施の形態の反射ミラーとする構成にすることも可能である。この場合、上述のように光源11に近い反射ミラー12、13、ならびに、収束されたX線光束が照射される反射ミラー18は、吸収するエネルギーが大きいため、これらのいずれかについては第1の実施の形態の反射ミラーを用いることが望ましい。

【0062】また、本実施の形態の軟X線投影露光装置の反射マスク15についても、第1の実施の形態の反射ミラーと同じように、インバー基板を用いる構成にすることができる。この場合、反射マスクの熱変形量を小さくすることができるため、X線の照射強度を大きくしても、反射マスクのパターンの形状精度を維持したまま、ウエハ21に投影することが可能になる。

【0063】

【発明の効果】 上述してきたように、本発明によれば、照射されるエネルギーの吸収による熱変形を充分小さく抑えることのできる反射鏡とその製造方法を提供することが可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1の実施の形態のX線反射ミラーの構成を示す断面図。

【図2】 (a) 図1の反射ミラーの熱変形量 $\Delta x$ を示すための説明図、(b) 図1の反射ミラーの厚さ方向の温

度分布を示すグラフ。

【図3】反射ミラーの表面粗さと反射率との関係を示すグラフ。インパーの研磨面の表面粗さの測定例を示す図である。

【図4】図1の反射ミラーの基板の表面粗さを示すグラフ。

【図5】本発明の第2の実施の形態の図1の反射ミラー

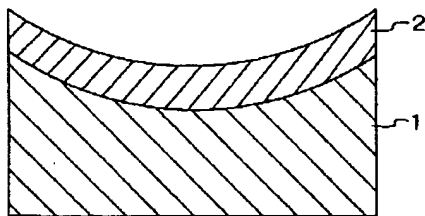
を用いた軟X線投影露光装置の構成を示すブロック図。

【符号の説明】

1・・・インパー基板、2・・・多層膜、11・・・X線光源、12、13、16、17、18、19・・・反射ミラー、14・・・マスクステージ、15・・・反射マスク、20・・・ウエハステージ、21・・・ウェハ。

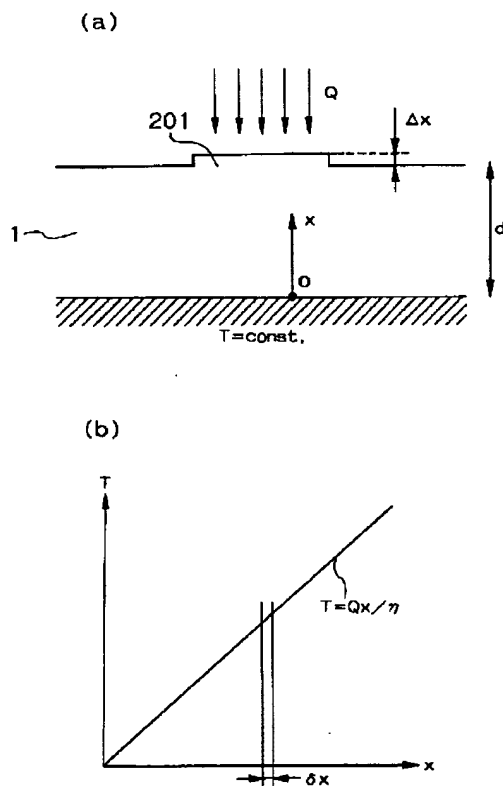
【図1】

図1



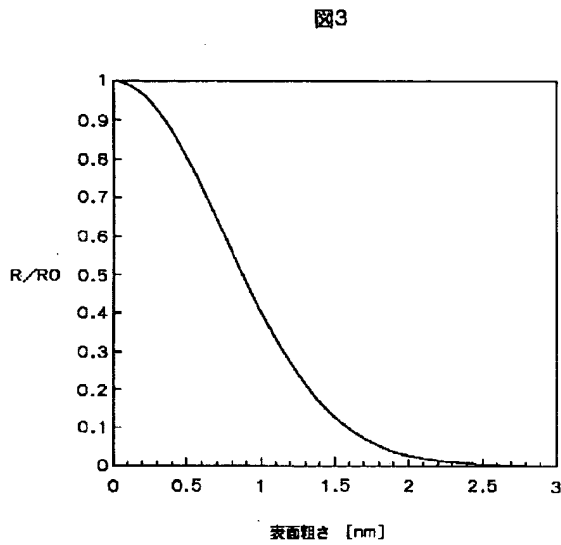
【図2】

図2

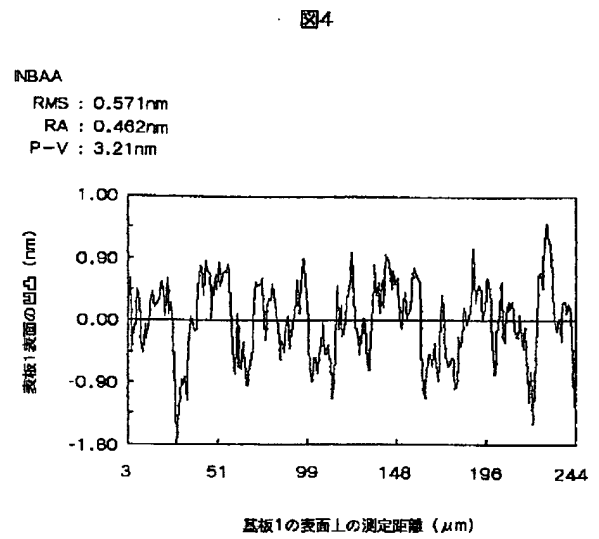




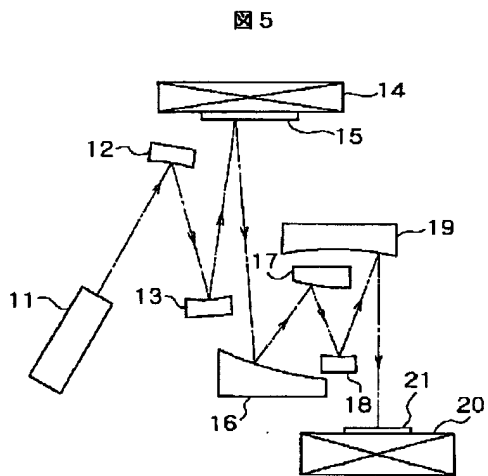
【図3】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2H042 AA02 AA25 DA08 DB03 DC02  
 DC09 DC10 DC11 DD08  
 2H097 CA15 GB01  
 5F046 AA08 BA04 CB03 GA03 GB01

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ ~~FADED TEXT OR DRAWING~~
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**